



TUGAS AKHIR - TF 141581

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING
PERNAPASAN BERBASIS SERAT OPTIK
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS)
PADA MATRAS

Elox Suraya
NRP. 02311340000057

Dosen Pembimbing :
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TF 141581

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING
PERNAPASAN BERBASIS SERAT OPTIK
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS)
PADA MATRAS

Elox Suraya
NRP. 02311340000057

Dosen Pembimbing :
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TF 141581

*DESIGN OF RESPIRATION MONITORING
SYSTEM WITH OPTICAL FIBER SINGLEMODE-
MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS) AS MATTRES*

Elox Suraya
NRP. 02311340000057

Conselor Lecturer :
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.si, Ph. D

*Engineering Physics Department
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018*

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING
PERNAPASAN BERBASIS SERAT OPTIK
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS)
PADA MATRAS**

TUGAS AKHIR

Oleh :
ELOX SURAYA
NRP. 02311340000057

Surabaya, 23 Januari 2018
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING
PERNAPASAN BERBASIS SERAT OPTIK
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS)
PADA MATRAS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Fotonika
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ELOX SURAYA
NRP. 02311340000057

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.sc. (Ketua Penguji)
2. A.M Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. (Pembimbing)
3. Dr.rer.nat.Ir. Aulia Nasution, M.Sc. (Penguji I)
4. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. (Penguji II)

**SURABAYA
JANUARI, 2018**

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PERNAPASAN BERBASIS SERAT OPTIK *SINGLEMODE- MULTIMODE-SINGLEMODE* (SMS) PADA MATRAS

Nama Mahasiswa : Elox Suraya
NRP : 02311340000057
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D.

Abstrak

Sensor pernapasan sangat diperlukan untuk memonitoring kesehatan selain monitoring pada denyut nadi, tekanan darah, dan suhu. Salah satu sensor pernapasan yang dikembangkan saat ini adalah sensor pernapasan berbasis serat optik karena memiliki kelebihan yaitu murah, *fabrikasi* mudah, dan memiliki sensitivitas tinggi. Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat sensor pernapasan berbasis serat optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) yang mampu mendeteksi perubahan pernapasan secara *realtime* dan naracoba ditempatkan pada matras. Sensor yang diuji memiliki panjang *segmen* serat optik *multimode* 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, dan 40 cm. Sedangkan berat yang dimonitoring oleh sensor meliputi berat 38 kg, 45 kg, 57 kg, 64 kg, 81 kg, dan 91 kg. Pengujian sensor dilakukan dengan cara mengukur perubahan daya keluaran setiap variasi panjang *segmen* serat optik multimode pada setiap beban naracoba, yang dilakukan selama 60 detik dalam keadaan berbaring di matras. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa sensor terbaik yang mampu mendeteksi pernapasan adalah sensor dengan panjang *multimode* 20 cm dengan tingkat sensitivitas 0,4962 dBm/kg. Selain dapat digunakan sebagai sensor pernapasan, serat optik berstruktur SMS ini mampu digunakan juga sebagai sensor berat badan.

Kata kunci: monitoring, pernapasan, serat optik, *singlemode-multimode-singlemode*

Halaman ini memang dikosongkan

**DESIGN OF RESPIRATION MONITORING SYSTEM WITH
OPTICAL FIBER SINGLEMODE-MULTIMODE-
SINGLEMODE (SMS) AS MATTRES**

Name : Elox Suraya
NRP : 02311340000057
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D

Abstract

Respiratory sensor is necessary for a health monitoring system in addition to monitoring of pulse, blood pressure, and temperature. One type of prospective respiratory sensors is optical fiber-based breathing sensor because it has advantages that are cheap, easy fabrication, and have high sensitivity. In this research has designed and manufactured Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS) fiber-optic breathing sensors capable of detecting respiratory changes in realtime and applied to the mattresses. Sensors that tested have multimode length 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, and 40 cm with weight 38 kg, 45 kg, 57 kg, 64 kg, 81 kg, and 91 kg. Sensor testing is done by measuring changes in output power of each fiber-optic fiber length in each load burden carried out for 60 seconds in a state lying on the mat. The results of the study showed that the length of MMF that gave the best results for respiratory monitoring was at 20 cm length with a sensitivity level of 0.4962 dBm / kg. Beside as a respiratory sensor, optical fiber-based SMS also can be a weight sensor.

Keyword : monitoring, respiration, optical fiber, singlemode-multimode-singlemode

Halaman ini memang dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat ALLAH SWT Rabbil Azzaty serta shalawat dan salam tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“Rancang Bangun Sistem Monitoring Pernapasan Berbasis Serat Optik Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS) Pada Matras”**. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program S-1 Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini kepada:

1. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika FTI – ITS Surabaya atas kebijaksanaan beliau.
2. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, MSc selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Fotonika yang telah memberikan izin penggunaan fasilitas Laboratorium.
3. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing materi..
4. Ir. Jerri Susatio, M.T. yang selalu membimbing saya selama perkuliahan.
5. Sahabat- sahabat saya, dan semua pihak yang tidak bisa di sebutkan satu persatu oleh penulis.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga, khusus penulis haturkan bagi beliau – beliau yang sangat penulis kasihi Ayah dan Ibu di Kediri serta Kakak dan Adik atas segenap doa dan dukungan mereka selama penulis melaksanakan tugas akhir. Juga seluruh Keluarga Besar yang penuh ketulusan memberikan dorongan baik materil maupun semangat moril dan doanya, selama penulis menuntut ilmu dan hingga mampu menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT memberikan rahmat dan hidayah serta membalas amal budi baik kita semua. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis menyadari masih banyak kekurangannya “Tak Ada Gading Tak Retak”. Oleh karena itu segala kritik dan saran membangun dari berbagai pihak akan senantiasa diterima dengan keikhlasan hati. Akhir kata penulis ucapkan Wassalamualaikum warahmatullahi Wabarakaatuh.

Surabaya , 23 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	i
1.1 Latar Belakang	i
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Pernapasan	8
2.3 Serat Optik	9
2.4 Serat Optik Berstruktur SMS	10
2.5 Tekanan Udara	12
2.6 Volume dan Kapasitas Pernapasan	12
2.7 Titik Berat dan Keseimbangan Tubuh Manusia	14
2.8 Sensor.....	15
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	17
3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	18

3.3 Pembuatan Sensor Serat Optik Berstruktur SMS.....	18
3.4 Pengujian Sensor.....	19
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Uji Beban pada Sensor.....	23
4.2 Uji Sensor terhadap Posisi Punggung	24
4.3 Uji Pernapasan pada Sensor.....	26
4.4 Uji Pola Pernapasan	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA.....	1
LAMPIRAN A Datasheet Peralatan.....	A-1
LAMPIRAN B Peralatan Penelitian.....	B-1
LAMPIRAN C Pengambilan Data Pernapasan.....	C-1
LAMPIRAN D Data Karakteristik Sensor.....	D-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Desain setengah oval sensor serat optik;	
(a) Tanpa cross-point (b) dengan cross-point	5
Gambar 2.2 Desain matras	6
Gambar 2.3 Sensor mikrobending	6
Gambar 2.4 Struktur <i>smartbed</i> dengan sensor FBG.....	7
Gambar 2.5 Set up eksperimen (Lukaz Dzuida, 2013)	7
Gambar 2.6 Perbandingan hasil dengan ECG	8
Gambar 2.7 Inspirasi dan ekspirasi	9
Gambar 2.8 Struktur serat optik	9
Gambar 2.9 Serat optik singlemode-multimode(step-index)-	
singlemode	11
Gambar 2.10 Volume dan kapasitas pernapasan	14
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	18
Gambar 3.2 Desain <i>probe</i> sensor	19
Gambar 3.3 Rangkaian pengujian monitoring pernapasan.....	20
Gambar 3.4 Posisi sensor pada punggung.....	20
Gambar 3.5 Skema prinsip kerja sensor pernapasan.....	21
Gambar 4.1 Pengaruh beban terhadap daya keluaran	
pada sensor.....	23
Gambar 4.2 Posisi pengujian sensor.....	25
Gambar 4.3 Respon pernapasan saat posisi (a) punggung	
kiri atas, (b) torakal, dan (c) pusat punggung	25
Gambar 4.4 Grafik saat menghirup dan menghembuskan udara.	27
Gambar 4.5 Pernapasan biasa dan maksimal	33

Gambar 4.6	Respon sensor 20 cm pada pernapasan biasa untuk berat (a) 19,38 kg, (b) 22,95 kg, (c) 29,07 kg, (d) 32,64 kg, (e) 41,31 kg, (f) 46,41 kg.....	28
Gambar 4.7	Respon sensor 20 cm pada pernapasan maksimal untuk berat (a) 19,38kg, (b) 22,95kg, (c) 29,07 kg, (d) 32,64 kg, (e) 41,31 kg, (f) 46,41 kg.....	4
Gambar 4.8	Pernapasan biasa pada wanita 81 kg.....	30
Gambar 4.9	Pernapasan biasa pada laki-laki 81 kg.....	30
Gambar 4.10	Pernapasan biasa dalam keadaan tidur	31
Gambar 4.11	Pola pernapasan dalam kondisi tidur dan tidak sehat.....	31
Gambar 4.12	Pola pernapasan saat terjadi gerakan	32

DAFTAR TABEL

Tabel 4 1 Unjuk Kerja Sensor Pernapasan	24
Tabel 4 2 Jumlah Pernapasan Biasa Per Menit	29

Halaman ini memang dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tingkat pernapasan merupakan salah satu dari tanda vital yang digunakan untuk memantau keadaan pasien setiap hari selain denyut nadi, tekanan darah, dan suhu [1]. Namun pada kebanyakan rumah sakit, empat tanda vital ini sering tidak dipantau, khususnya tingkat pernapasan [1]. Nilai tingkat pernapasan seorang pasien adalah kunci vital untuk mengetahui perubahan kesehatan secara dini terhadap penyakit kritis, seperti penyakit jantung [2]. Dalam bidang medis telah banyak dilakukan penelitian mengenai monitoring tingkat pernapasan pada manusia, seperti menggunakan alat respiR8 dan kapnograph [3] yang dapat memberikan informasi mengenai tingkat pernapasan yang cukup baik. Namun kenyamanan dalam menggunakan alat-alat tersebut kurang, karena harus memasukan sebuah perangkat ke dalam mulut pasien. Ada juga penelitian yang menggunakan perhitungan manual menggunakan jam tangan untuk mengukur tingkat pernapasan [3], sehingga bisa disimpulkan metode ini kurang praktis dan rentan akan kesalahan perhitungan.

Pemantauan yang dapat dilakukan selama 24 jam terhadap parameter fisiologi manusia menjadi sangat penting dengan aplikasi-aplikasi yang terus dikembangkan. Di bidang kedokteran juga telah dikenal Magnetic Resonance Imaging (MRI) yang mampu memberikan hasil pemeriksaan dengan baik terhadap perubahan parameter fisiologis sehingga mampu mendeteksi gangguan lebih dini. Namun, kenyamanan dalam menggunakan MRI kurang, karena pasien harus diperiksa dalam ruang tertutup (*claustrophobia*) selama 15 hingga 90 menit, serta tidak diperkenankan bagi pasien yang terdapat logam di dalam tubuhnya. Serat optik telah banyak dikembangkan sebagai sensor dalam berbagai bidang, dalam bidang industri, serat optik telah dikembangkan untuk menggantikan sensor tradisional seperti

sensor pengukuran rotasi, percepatan, elektrik dan medan magnet, suhu, tekanan, akustik, vibrasi, dan lainnya [4]. Tentunya penggunaan sensor serat optik ini memiliki kelebihan dari pada sensor tradisional, yaitu sensor serat optik berukuran kecil, sensitivitas tinggi dan tahan terhadap interferensi medan listrik dan medan magnet, serta konsumsi daya yang rendah [4].

Penelitian mengenai monitoring pernapasan sudah banyak dikembangkan, diantaranya dilakukan oleh Marek Krahel dengan judul penelitian *An Optical Fibre-Based Sensor for Respiratory Monitoring* [5]. Serat optik digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi tingkat pernapasan melalui fenomena mikrobending. Kemudian penelitian monitoring sinyal pernapasan berbasis serat optik plastik juga telah dilakukan oleh Wayan Suana dengan judul “Rancang Bangun Sistem Instrumentasi untuk Memantau Sinyal Pernapasan Berbasis Serat Optik Plastik” dimana pengukuran tingkat pernapasan dilakukan dengan menempatkan sensor ke dalam masker yang dikembangkan lagi oleh Sanif Syafrani dengan menggunakan serat optik SMS.. Sistem ini memanfaatkan besaran fisis yang terdapat dalam aliran pernapasan, yaitu suhu, kelembaban, dan tekanan [6]. Perubahan temperatur antara inspirasi dan ekspirasi dapat digunakan sebagai karakterisasi pernapasan, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Masuyaki Morisawa dkk [7]. Sensor ini memerlukan sensor jenis FBG yang memerlukan biaya tambahan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka pada tugas akhir ini akan dilakukan pengembangan dari perancangan sistem monitoring pernapasan berbasis serat optik berstruktur SMS yang akan diterapkan pada matras (*smartbed*) sehingga monitoring pernapasan bisa dilakukan secara langsung dan memanfaatkan besaran fisis berupa tekanan [8]. Penerapan sistem monitoring pernapasan berbasis serat optik SMS digunakan dengan alasan memiliki kelebihan dalam hal fabrikasi, sensitivitas tinggi, dan biaya yang dibutuhkan dalam perancangan sensor relatif murah [9].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka permasalahan yang dapat diambil adalah:

- a. Bagaimana membuat sensor pernapasan menggunakan serat optik berstruktur SMS?
- b. Bagaimana kinerja sistem monitoring untuk memantau pernapasan?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan laporan penelitian tugas akhir ini batasan masalah yang digunakan adalah:

- a. Pernapasan yang dideteksi adalah pola pernapasan manusia yang terdiri dari proses menghirup (inspirasi) dan proses menghembuskan udara (ekspirasi).
- b. Serat optik yang digunakan adalah *singlemode-multimode-singlemode dengan panjang gelombang 1550nm*.
- c. Perubahan parameter fisis yang ditinjau pada penelitian ini adalah tekanan dada dari proses inspirasi dan ekspirasi dalam pernapasan.
- d. Obyek yang digunakan adalah manusia dewasa.

1.4 Tujuan

Tujuan utama dari tugas akhir ini adalah merancang dan membuat sistem monitoring pernapasan menggunakan sensor serat optik berstruktur SMS berdasarkan perubahan parameter fisis pada pernapasan dan menguji karakteristik sensor pernapasan yang dirancang.

1.5 Manfaat

Motivasi dilakukan penelitian ini adalah penelitian ini mempunyai prospek ke depan yang bermanfaat baik dalam segi ilmu maupun aplikasi. Manfaat dari penelitian ini adalah hasil rancangan dapat membuka peluang untuk pengembangan sensor

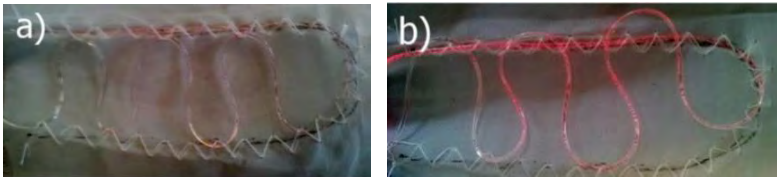
pernapasan. Selain itu, serat optik berstruktur SMS memiliki beberapa kelebihan yakni murah dan mudah dibuat.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Marek krehel, serat optik telah berhasil digunakan sebagai sensor deteksi laju pernapasan melalui fenomena mikrobending, dimana sensor akan merasakan perubahan naik turun dada dalam proses inspirasi dan ekspirasi. Pada penelitian ini serat optik dikenakan bending seperti di tunjukkan pada gambar 1. Terdapat dua set-up sensor seperti yang terlihat (a) dan (b). keduanya menggunakan metode makrobending untuk mengukur tekanan dari pergerakan dada. Bentuk tersebut pertamakali dikembangkan oleh Agousti dan Raza pada tahun 1993 pada penelitiannya mengenai fibre optic respiratory plethysmograph (FORP). [5]



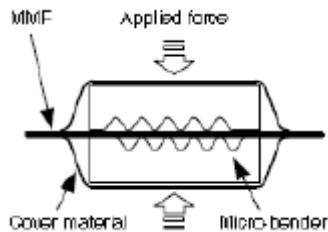
Gambar 2.1 Desain setengah oval sensor serat optik; (a) Tanpa cross-point (b) dengan cross-point [5]

Kemudian pada tahun 2010, Jianzhong juga melakukan penelitian mengenai sensor serat optik untuk laju pernapasan, dimana menggunakan serat optik dengan metode Fiber Bragg Grating (FBG) dipasang pada matras tidur pasien sebagai media untuk mengukur tekanan pada bagian belakang tubuh. Desain dari tempat tidur dan penempatan sensornya adalah tampak pada Gambar 2.2 [10].

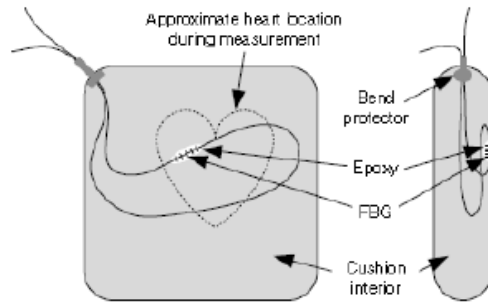


Gambar 2.2 Desain matras [10]

Dalam penelitian Lukasz Dziuda, serat optik yang dirancang sebagai sensor pernapasan terhadap serat optik jenis MMF dilakukan dengan mikrobending dan makrobending pada matras. Hal mendasar yang mempengaruhi monitoring adalah pergerakan tubuh saat berbaring di atas sensor serta perbedaan radius dari lekukan. Serta juga dijelaskan sensor pernapasan yang dirancang menggunakan prinsip FBG yang mampu mendeteksi perubahan temperatur dan strain untuk memonitoring pernapasan.

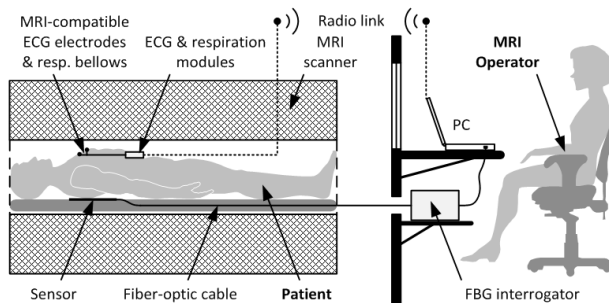


Gambar 2.3 Sensor *mikrobending* [11]

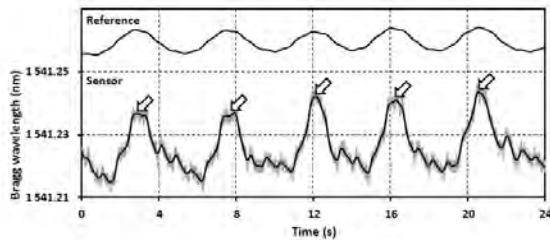


Gambar 2.4 Struktur *smartbed* dengan sensor FBG [11]

Adapun desain set up sensor tersebut pada Gambar 2.5 dan perbandingannya dapat hasil dilihat pada Gambar 2.6. Trend yang dihasilkan dari sensor sudah sesuai dengan (electro cardio graph) ECG sebagai referensi.



Gambar 2.5 Set up eksperimen [11]

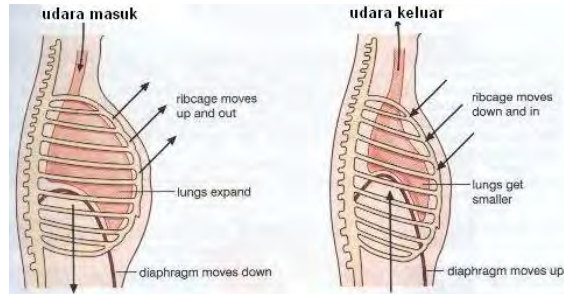


Gambar 2.6 Perbandingan hasil dengan ECG[11]

Penempatan sensor berada di bagian belakang tubuh menyesuaikan dari penelitian yang dilakukan oleh S. J. CALA pada tahun 1996. Metode palpasi yang dilakukan oleh teknisi kesehatan juga melakukan pemeriksaan untuk pernapasan pada bagian punggung agar tidak terganggu oleh denyut jantung [12].

2.2 Pernapasan

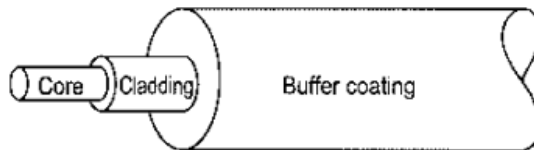
Respirasi adalah proses pertukaran oksigen dan karbondioksida. Udara masuk ke dalam paru melalui inspirasi dan dikeluarkan melalui *ekspirasi* [13]. Otot yang membantu proses respirasi adalah diafragma dan interkostal eksternal dan internal. Pada proses pernapasan akan terdapat perbedaan tekanan antara rongga dada dan lingkungan, pada proses *inspirasi* udara akan masuk ke dalam paru-paru karena tekanan didalam paru-paru lebih kecil (menyempitnya rongga dada) dari pada lingkungan. Sebaliknya pada proses *ekspirasi* udara akan keluar ke lingkungan karena tekanan didalam paru-paru lebih besar (mengembangnya rongga dada) dari pada lingkungan. Tekanan pada udara ekspirasi akan diawali dengan adanya aliran udara dinamik yang terjadi, aliran udara ini dapat berupa aliran *laminer* ataupun *turbulen*. Tekanan udara *ekpirasi* akan didapat dari tekanan dinamik dari aliran dinamik udara *ekspirasi*.



Gambar 2.7 Inspirasi dan ekspirasi [13]

2.3 Serat Optik

Serat optik adalah media yang mentransmisikan radiasi dari cahaya dari satu tempat ke tempat lainnya dalam bentuk gelombang yang terpandu melalui serat yang terbuat dari gelas atau plastik [9]. Serat optik kebanyakan berbentuk silinder yang terdiri dari tiga lapisan: core yang membawa cahaya, lapisan cladding yang menutupi core, dan lapisan pelindung. Gambar 2.8 dibawah ini menunjukkan struktur serat optik.



Gambar 2.8 Struktur serat optik [7]

Core memiliki nilai indeks bias sebesar n_1 , dan dikelilingi oleh *cladding* dengan nilai indeks bias yang lebih kecil dari pada n_1 . Meskipun cahaya dapat menjalar melalui core tanpa cladding, namun cladding disini juga berfungsi untuk mengurangi *scattering loss* pada permukaan gelas dan udara, serta menambah kekuatan mekanik dari pada fiber. Kemudian lapisan plastik terluar berfungsi untuk melindungi serat optik agar tidak rusak akibat pengaruh fisik lingkungan luar [14].

Fenomena terpandunya cahaya dalam serat optik dikarenakan adanya total internal reflection (TIR) yang terjadi pada batas *core-cladding*. Dalam hukum Snellius, telah diketahui bahwa sinar datang dari medium yang indeks biasnya lebih besar ke medium yang indeks biasnya lebih kecil, maka sinar akan dibiaskan menjauhi garis normal. Sudut kritis (Φ_c) terjadi apabila sinar datang dibiaskan dengan membentuk sudut 90° [15]. Berikut ini adalah rumus matematis dari TIR [15].

$$\Phi_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (2.1)$$

dimana:

n_1 adalah indeks bias *core*

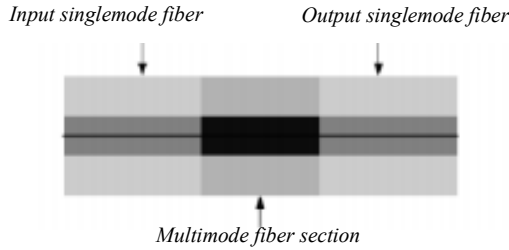
n_2 adalah indeks bias *cladding*

Untuk $n_1 > n_2$ jika sudut datang sinar lebih kecil dari pada sudut kritis, TIR akan terbentuk.

Ketika gaya mengenai serat optik, baik dikenai tekanan maupun tarikan akan mengakibatkan perubahan dari kerapatan massa serat optik, sehingga indeks bias serat optik juga ikut berubah dan mempengaruhi penjalaran dari moda-moda pada serat optik.

2.4 Serat Optik Berstruktur SMS

Serat optik berstruktur SMS merupakan serat optik yang terdiri dari dua buah serat optik singlemode identik yang disambungkan secara aksial pada kedua ujung serat optik *multimode*.



Gambar 2.9 Serat optik *singlemode-multimode(step-index)-singlemode* (SMS) [7]

Sambungan antar serat optik harus tersambung rata secara aksial untuk menghindari adanya eksitasi moda dengan orde lebih tinggi pada daerah sambungan masuk lead-in antara *singlemode* dan *multimode* maupun pada sambungan keluar lead-out serat multimode. Karena diameter *core* serat *multimode* jauh lebih besar daripada *singlemode*, maka hanya moda-moda fundamental dengan order lebih rendah yang dapat dibangkitkan LP01 dan dipandu didalam serat [15].

Telah diketahui bahwa serat optik SMS mampu diimplementasikan sebagai sensor. Diantara aplikasi SMS adalah sebagai sensor vibrasi, sensor lekukan, sensor ideks bias atau bio-sensor [15].

Transmission loss dari serat optik struktur SMS adalah sebagai berikut [15].

$$P_{out}(L) = 10 \log \left(\sum_{n=1}^N \eta_n^2 \exp(j\beta_n L) \right)^2 \quad (2.2)$$

Dimana L adalah panjang MMF, η_n dan β_n adalah koefisien eksitasi dan konstanta propagasi dari mode $LP0n$, dan N adalah total jumlah mode yang terpandu didalam serat MMF.

Pada serat optik SMS terdapat peristiwa MMI (*Multimode Interference*) yang mengakibatkan moda yang masuk ke serat *singlemode* akan membangkitkan moda-moda yang masuk ke dalam serat optik *multimode* yang mengakibatkan terbentuknya

self imaging (interferensi konstruktif) yang terjadi pada jarak tertentu dan berulang pada kelipatan jarak tertentu.

2.5 Tekanan Udara

Gas tidak memiliki bentuk atau volume yang tetap dan mengisi semua ruang yang ada. Partikel-partikel dalam gas bebas bergerak dalam ruang dan saling bertumbukan satu sama lain. Tumbukan antara partikel gas dengan dinding wadah akan menyebabkan tekanan. Semakin banyak jumlah tumbukan maka semakin tinggi tekanan yang terjadi [14].

Tekanan merupakan konsep yang paling penting dalam fluida. Tekanan didefinisikan sebagai gaya yang diberikan per satuan luas, yang dapat dituliskan sebagai berikut.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

Dimana F adalah gaya yang diberikan terhadap A yaitu luas bidang tekan.

Secara umum, udara mengalir karena adanya perbedaan tekanan yang disebabkan oleh daya kekuatan yang bekerja pada sistem pernapasan. Sesuai dengan Hukum Boyle yaitu:

$$\begin{aligned} PV &= \text{Konstan} \\ P_1 V_1 &= P_2 V_2 \end{aligned} \quad (2.4)$$

Dimana hubungan antara tekanan dan volume adalah berbanding terbalik.

2.6 Volume dan Kapasitas Pernapasan

2.6.1 Volume

Macam-macam volume udara dalam paru-paru manusia dijelaskan sebagai berikut [14].

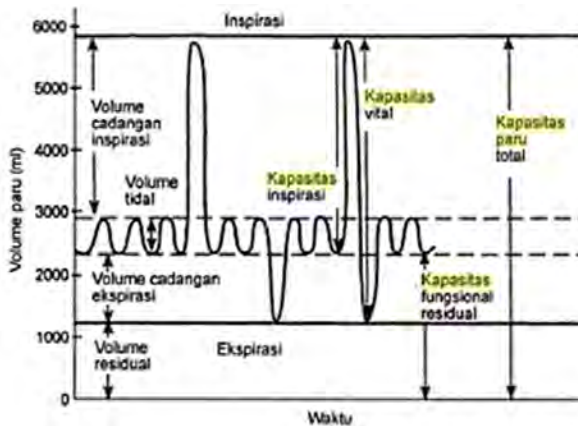
- a. **Volume tidal (VT)** adalah volume udara yang masuk dan keluar paru-paru selama ventilasi normal biasa. VT pada dewasa muda sehat berkisar 500 ml untuk laki-laki dan 380 ml untuk perempuan.

- b. **Volume cadangan inspirasi (VCI) atau disebut juga volume komplementer** adalah volume udara yang diperoleh ketika menarik napas dalam-dalam (inspirasi maksimum). VCI berkisar 3.100 ml pada laki-laki dan 1.900 ml pada perempuan.
- c. **Volume cadangan ekspirasi (VCE) atau disebut juga volume suplementer** adalah volume udara yang diperoleh ketika menghembuskan napas sekuat-kuatnya. VCE biasanya berkisar 1.200 ml pada laki-laki dan 800 ml pada perempuan.
- d. **Volume residual (VR)** adalah volume udara sisa dalam paru-paru setelah melakukan ekspirasi kuat. Volume residual penting untuk kelangsungan aerasi dalam darah saat jeda pernapasan. Rata-rata volume ini pada laki-laki sekitar 1.200 ml dan pada perempuan 1.000 ml.

2.6.2 Kapasitas Udara

Macam-macam kapasitas udara dalam paru-paru manusia dijelaskan sebagai berikut [14].

- a. **Kapasitas residual fungsional (KRF)** adalah penambahan volume residual dan volume cadangan ekspirasi ($KRF = VR + VCE$). Kapasitas ini merupakan jumlah udara sisa dalam sistem respiratorik setelah ekspirasi normal. Nilai rata-ratanya adalah 2.200 ml.
- b. **Kapasitas inspirasi (KI)** adalah penambahan volume tidal dan volume cadangan inspirasi ($KI = VT + VCI$). Nilai rata-ratanya adalah 3.500 ml.
- c. **Kapasitas vital (KV)** adalah jumlah dari volume udara tidal, volume udara komplementer, dan volume udara suplementer.



Gambar 2.10 Volume dan kapasitas pernapasan [14]

2.7 Titik Berat dan Keseimbangan Tubuh Manusia

Titik Berat adalah titik dimana gaya berat benda atau anggota tubuh itu bekerja atau sering juga disebut sebagai titik keseimbangannya. Dapat juga dikatakan bahwa titik berat adalah titik yang mewakili berat dari benda atau tubuh [15].

Jika bentuk atau posisi sebuah objek berubah, letaknya titik berat juga akan berubah. Hal ini terjadi dalam badan manusia. Badan manusia yang merupakan susunan segmen-segmen, mampu membuat banyak posisi, sehingga letak titik berat badannya bisa berubah-ubah. Ini merupakan pertimbangan yang penting didalam pelaksanaan keterampilan-keterampilan olahraga. Letak titik berat badan kita pada sikap anatomis adalah [15]:

Berat kepala	= 6,9%	
Berat leher	= 1 %	= 59%
Berat badan	= 51%	

Berat lengan atas	= 2,7% x 2	
Berat lengan bawah	= 1,6% x 2	= 9,8%
Berat tangan	= 0,6% x 2	

Berat tungkai atas	= 9,7% x 2	
--------------------	------------	--

Berat tungkai bawah	$= 4,5\% \times 2$	$= 31,2\%$
Berat kaki	$= 1,4\% \times 2$	
-----+		
Berat seluruh tubuh	$= 100\%$	

2.8 Sensor

Berdasarkan sistem pengukuran, sensor merupakan elemen pertama yang memberikan sinyal keluaran sebagai fungsi dari masukan besaran fisis tertentu. Adapun sistem pengukuran secara umum dibangun dengan empat komponen utama, yaitu sensor, pengondisian sinyal, pemprosesan sinyal, dan display [16].

ensor memiliki beberapa karakteristik statik yang dijadikan sebagai tolok ukur performansi di dalam sistem pengukuran, diantaranya adalah sebagai berikut [16].

- **Range**
Range input dari sensor adalah nilai minimum ke maksimum (I_{MIN} ke I_{MAX}) dan range output dari element adalah nilai minimum ke maksimum (O_{MIN} ke O_{MAX}).
- **Span**
Span adalah variasi maksimum pada nilai input atau ouput sensor, span input adalah nilai input maksimum dikurangi nilai input minimum (I_{MIN} ke I_{MAX}) dan span output adalah nilai output maksimum dikurangi nilai output minimum ($O_{MAX} - O_{MIN}$). Misalkan transduser tekanan memiliki span input 10^4 Pa dan span output 16 mA.
- **Linearitas Perancangan konfigurasi serat Optik**
Lineartas adalah hubungan antara nilai I dan O sensor yang ideal, jika digambarkan dalam grafik akan membentuk garis lurus.
- **Non-Linearitas**
Hubungan antara nilai input dan output tidak dalam garis lurus.
- **Sensitivitas**
Perubahan ouput sensor (ΔO) untuk setiap perubahan input sensor (ΔI), yang dinyatakan dalam rasio($\Delta O/\Delta I$).

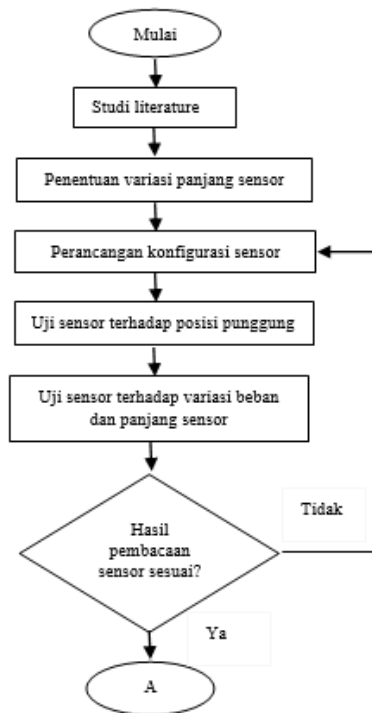
- Hysteresis
Perubahan nilai output (O) yang bergantung pada nilai input pengukuran naik dan pengukuran turun.

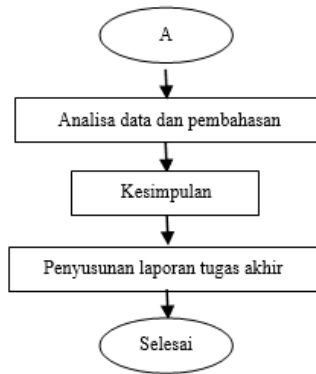
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang perancangan dan pembuatan sistem instrumentasi untuk memonitoring pernapasan berbasis serat optik berstruktur SMS. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penyiapan peralatan dan bahan penelitian, pengujian sensor.

3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Secara umum pengerjaan penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir di bawah ini.





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam perancangan sensor serat optik berstruktur SMS memerlukan alat dan bahan antara lain:

- a. Serat optik *singlemode* jenis SMF-28
- b. Serat optik *multimode step index*
- c. Alkohol 99%
- d. Sumber cahaya dengan panjang gelombang 1550 nm
- e. *Fusion Splicer* type-ZIC Sumitomo Electric
- f. *Optical power meter* Thorlabs PM-100D
- g. *Serat cleaver*
- h. *Serat stripper*
- i. Kasur busa

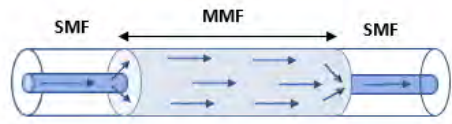
3.3 Pembuatan Sensor Serat Optik Berstruktur SMS

Probe sensor napas yang dibuat berjumlah lima jenis, yaitu *probe* sensor dengan panjang serat optik *multimode step index* sebesar 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, dan 40 cm.

Prosedur pembuatan probe sensor 1 yaitu sebagai berikut.

- i. Memotong serat optik *multimode step index* sepanjang 5, 10, 20, 30, dan 40 cm menggunakan *fiber cleaver*

- ii. Memotong dua buah serat optik *singlemode* menggunakan *fiber cleaver*.
- iii. Mengupas lapisan pelindung serat optik *multimode coreless* menggunakan *fiber stripper*.
- iv. Mengupas lapisan pelindung dua buah serat optik *singlemode* menggunakan *fiber stripper*.
- v. Menyambungkan serat optik *singlemode* pertama dengan serat optik *multimode step index* menggunakan *fusion splicer*.
- vi. Menyambungkan serat optik *singlemode* kedua dengan sisi lain serat optik *multimode step index* menggunakan *fusion splicer*.
- vii. Meletakkan serat optik SMS ke penampang sebagai penjaga kondisi serat optik agar tetap lurus.



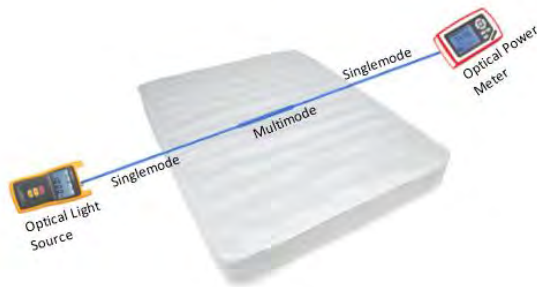
Gambar 3.2 Desain *probe* sensor

3.4 Pengujian Sensor

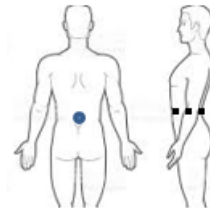
Dalam penelitian ini pengujian awal sensor dimaksudkan untuk mendapat struktur serat optik SMS yang baik untuk monitoring pernapasan ditinjau dari panjang MMF. Pengujian awal ditujukan untuk mengetahui respon sensor terhadap pengaruh tekanan selama manusia bernapas. Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui posisi tubuh yang tepat untuk penempatan sensor. Posisi yang diuji yaitu pada pusat punggung, daerah torakal, dan punggung kiri atas. Setelah diketahui posisi yang tepat untuk pengujian sensor terhadap pengaruh tekanan saat bernapas, maka pengujian kedua ditujukan untuk mengetahui respon sensor terhadap perubahan beban dan panjang MMF terhadap daya keluaran sensor.

Pengujian sensor untuk mendeteksi pernapasan dilakukan pada keadaan pernapasan biasa dan pernapasan maksimal. Pernapasan biasa adalah pernapasan seseorang dalam kondisi santai atau istirahat dengan volume pernapasan lebih kurang 500ml sebagai

indikator naracoba dalam keadaan sehat. Pernapasan maksimal adalah pernapasan seseorang dalam menghirup dan menghembuskan napas sekuat-kuatnya. Pengambilan data dilakukan dalam keadaan telentang selama 1 menit. Sensor diletakkan pada matras berukuran 200 cm x 100 cm x 12 cm dan di letakkan tepat pada tengah-tengah punggung untuk menghindari pembacaan denyut jantung. Namun, sebelum diambil data terhadap variasi berat tubuh, diambil data stabilitas dari sensor saat tidak ada beban.



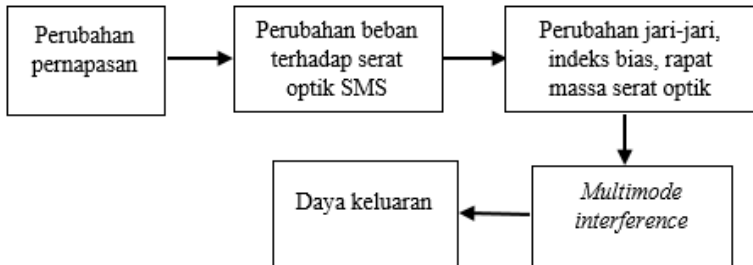
Gambar 3.3 Rangkaian pengujian monitoring pernapasan



Gambar 3.4 Posisi sensor pada punggung

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa prinsip kerja dari sensor serat optik berstruktur SMS ini adalah sensor akan mendeteksi perubahan parameter fisis dari pernapasan yaitu perubahan tekanan yang mengenai sensor saat naracoba

menghirup udara maupun saat menghembuskan udara. Perubahan tekanan juga diterapkan dari beberapa perubahan beban yang dikenakan pada sensor. Perubahan beban pada sensor mengakibatkan perubahan indeks bias, jari-jari, dan kerapatan massa pada serat optik SMS dan mengakibatkan terjadinya peristiwa *multimode interference* (MMI) sehingga terbentuk *self imaging* (interferensi konstruktif) yang terjadi pada jarak tertentu dan berulang pada kelipatan jarak tertentu sebagai *output* daya yang terbentuk.



Gambar 3.5 Skema prinsip kerja sensor pernapasan

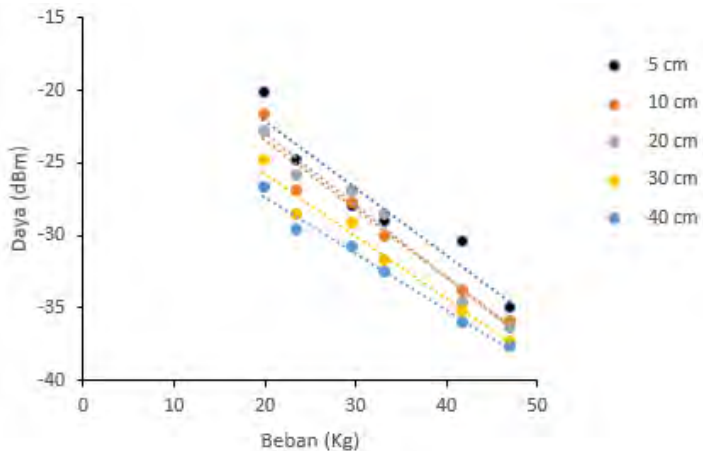
Halaman ini memang dikosongkan

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Beban pada Sensor

Pengujian beban pada sensor dilakukan dengan menguji setiap beban yang diberikan terhadap masing-masing panjang sensor. Variasi panjang serat optik *multimode* yang digunakan meliputi 5cm, 10cm, 20cm, 30cm, dan 40cm. Sedangkan beban yang diberikan terhadap sensor meliputi 38kg, 45kg, 57kg, 64kg, 81kg, dan 91kg. Variasi beban dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap daya keluaran pernapasan pada masing-masing panjang multimode dengan mengkonversi berat tubuh menjadi 51% dari berat tubuh total berdasarkan persamaan 2.3. Konversi berat tubuh menjadi 51% berat tubuh total dimaksudkan untuk mengetahui berat punggung yang dibebankan pada sensor. Dalam pengujian beban terhadap sensor, naracoba dipertahankan dalam keadaan berbaring di atas matras agar memperoleh data pernapasan yang stabil. Berikut hasil uji beban pada masing-masing sensor.



Gambar 4.1 Pengaruh beban terhadap daya keluaran pada sensor

Sedangkan untuk mengetahui unjuk kerja dari sensor pernapasan dilakukan pengukuran parameter pada sensor yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Unjuk Kerja Sensor Pernapasan

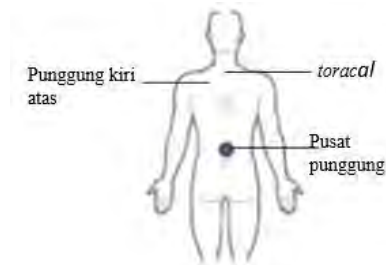
Parameter	5 cm	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm
Sensitivitas (dBm/Kg)	0.4641	0.4774	0.4962	0.4326	0.388
Standar deviasi (dBm)	0.73636	0.69212	0.64532	0.77788	0.79775
Resolusi (Kg)	1.586	1.449	1.300	3.526	2.056
Linearitas	0.9156	0.9508	0.9738	0.9718	0.9844
Rentang (Kg)	19.38 - 46.41	19.38 - 46.41	19.38 - 46.41	19.38 - 46.41	19.38 - 46.41

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa pengambilan data dilakukan pada range 19,38 kg hingga 46,41 kg yang merupakan 51 persen dari berat naracoba. Sensor yang memiliki sensitivitas tertinggi adalah sensor dengan panjang MMF 20 cm sebesar 0.4962 dBm/kg dengan resolusi sebesar 1,3 kg dan linearitas 97%. Sedangkan, kestabilan dari sensor dapat diketahui dari standar deviasi masing-masing sensor yaitu 0,73 dBm untuk sensor 5 cm, 0,69 dBm untuk sensor 10 cm, 0,64 dBm untuk sensor 20 cm, 0,77 dBm untuk sensor 30 cm, dan 0,79 dBm untuk sensor 40 cm. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa sensor yang memberikan hasil terbaik adalah sensor yang memiliki panjang MMF 20 cm.

4.2 Uji Sensor terhadap Posisi Punggung

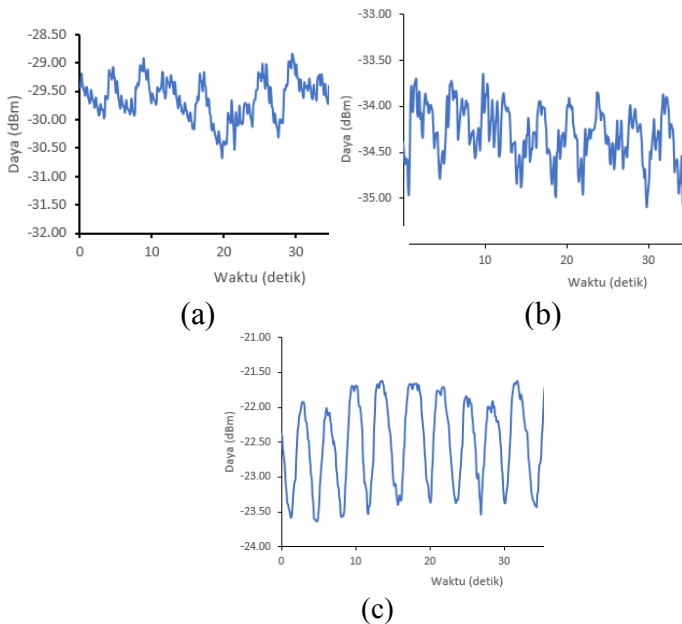
Pengujian sensor terhadap posisi punggung bertujuan untuk mengetahui posisi sensor yang mampu memberikan hasil terbaik saat mendeteksi pernapasan manusia. Beban yang digunakan seberat 64 kg yang diujikan pada panjang sensor 20 cm. Penempatan sensor dikenakan pada punggung yang mengarah pada jurnal "*An Optical Fibre-Based Sensor for respiratory Monitoring*" dimana sensor pernapasan yang dibuat adalah sensor pernapasan yang diterapkan sebagai *belt* dan diletakkan pada tiga titik punggung yaitu daerah torakal, daerah punggung kiri atas, dan pusat punggung. Atas dasar penelitian Marek Krehel tersebut,

penempatan sensor dilakukan terhadap 3 posisi yang sama yaitu punggung kiri atas, torakal, dan pusat punggung.



Gambar 4.2 Posisi pengujian sensor

Adapun hasil yang diperoleh dari pengujian ditunjukkan oleh Gambar 4.3



Gambar 4.3 Respon pernapasan saat posisi (a) punggung kiri atas, (b) torakal, dan (c) pusat punggung

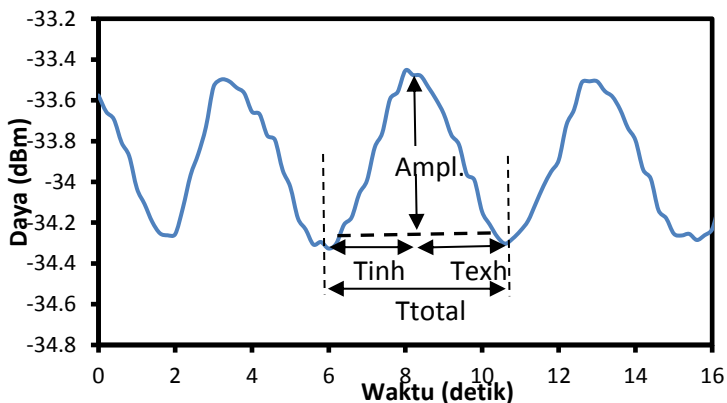
Dari hasil pengujian posisi sensor terhadap respon pernapasan, dapat diketahui bahwa pada saat sensor diposisikan di punggung kiri atas, respon pernapasan kurang stabil yang ditunjukkan oleh hubungan *peak-to-peak* yang tidak relevan sebagai respon pernapasan dengan amplitudo yang berubah-ubah tiap waktu. Sedangkan sensor yang ditempatkan di daerah *toracal* menghasilkan respon pernapasan yang lebih baik dilihat dari respon pernapasan yang terbentuk lebih stabil dari pada respon pernapasan saat diposisikan di punggung kiri atas. Namun, hubungan *peak-to-peak* dari grafik ini juga kurang memberikan hasil yang sesuai untuk respon pernapasan karena amplitudo dari pernapasan normal juga cenderung berubah-ubah. Uji sensor yang dilakukan pada posisi pusat punggung memberikan hasil yang paling baik karena amplitudo dan *peak* dari respon sesuai dengan pola pernapasan manusia. Dari hasil yang diperoleh bahwa sensor yang mampu mendeteksi pola pernapasan dengan baik adalah pada posisi pusat punggung, maka pemosisian sensor yang digunakan adalah pada pusat punggung.

4.3 Uji Pernapasan pada Sensor

Dalam proses pernapasan terjadi tiga perubahan parameter fisis antara udara ekspirasi dan inspirasi, parameter-parameter itu adalah suhu, kelembaban relatif, dan tekanan. Namun, dalam penelitian sensor ini parameter fisis yang mempengaruhi adalah tekanan yang dihasilkan masing-masing beban. Untuk mengetahui perubahan parameter pernapasan tersebut dilakukan pengambilan data dengan meletakkan sensor tepat pada pusat punggung dan naracoba dijaga dalam posisi berbaring. Pernapasan yang diuji adalah pernapasan biasa dan pernapasan maksimal wanita yang memiliki berat 38 kg, 45 kg, 57 kg, 64 kg, 81 kg, dan 91 kg.

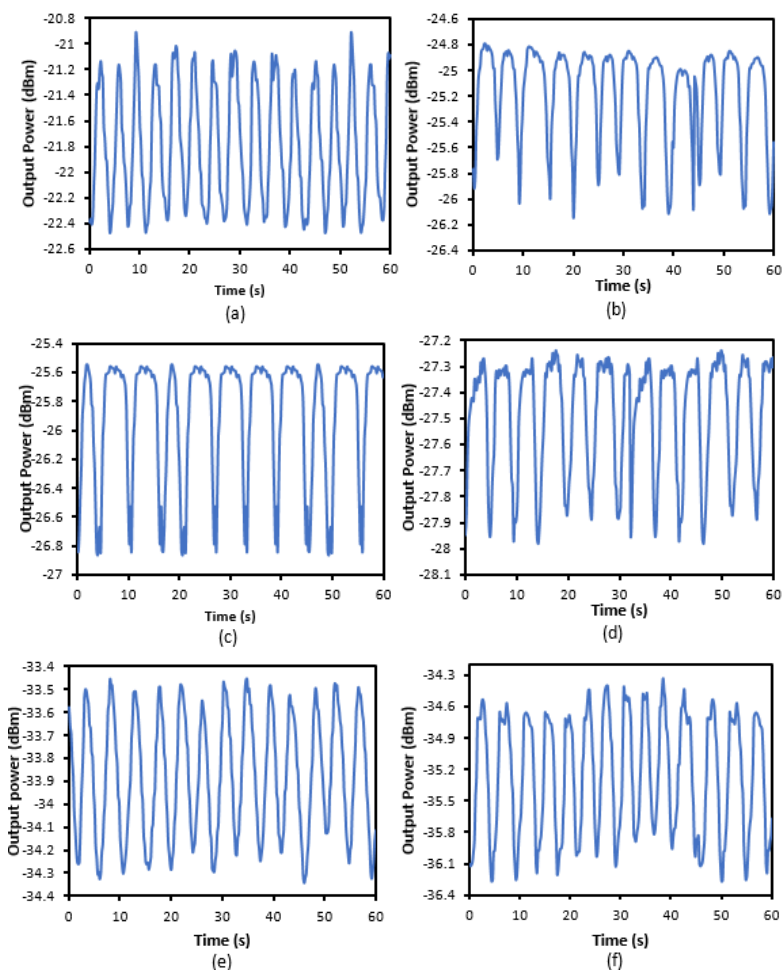
Dari hasil pengukuran yang ditunjukkan Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa dalam proses pernapasan terjadi perubahan tekanan. Pada proses menghirup udara, rugi daya yang dihasilkan lebih kecil dari pada saat menghembuskan napas. Begitu pula saat pernapasan maksimal. Hal ini sejalan dengan konsep yang

menerangkan bahwa volume udara berbanding terbalik dengan tekanan. Pada saat proses menghirup udara, volume udara yang masuk semakin besar mengakibatkan tekanan udara semakin kecil, sehingga rugi daya yang dihasilkan juga semakin kecil. Begitu pula sebaliknya pada proses menghembuskan napas. Volume udara semakin berkurang sehingga tekanan yang dihasilkan semakin besar. Hal ini mengakibatkan rugi daya terhadap serat optik juga semakin besar. Volume udara pernapasan manusia saat bernapas normal lebih kurang 500 ml. Sedangkan volume udara maksimal saat menghirup napas berkisar 3000 ml dan saat menghembuskan napas berkisar 1100 ml. Sebagai pembeda antara pernapasan biasa dan maksimal dapat diketahui dari amplitudo yang dihasilkan yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik saat menghirup dan menghembuskan udara

Hasil dari pengujian pernapasan terhadap sensor dengan panjang *multimode* 20 cm adalah sebagai berikut.



Gambar 4.5 Respon sensor 20 cm pada pernapasan biasa untuk berat (a) 19,38 kg, (b) 22,95 kg, (c) 29,07 kg, (d) 32,64 kg, (e) 41,31 kg, (f) 46,41 kg

Dari Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa puncak tertinggi dari respon pernapasan pada sensor 20 cm terhadap berat 46,41 kg yang pada umumnya memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan beban yang lebih ringan. Dari respon pernapasan yang dihasilkan dapat dihitung banyaknya pernapasan setiap menit pada masing-masing naracoba. Jumlah pernapasan per menit dapat diketahui dengan menghitung jumlah gelombang yang terbentuk. Data jumlah pernapasan per menit disajikan dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 Jumlah Pernapasan Biasa Per Menit

Berat (Kg)	Jumlah Pernapasan/Menit
19,38	14
22,95	12
29,07	11
32,64	13
41,31	13
46,41	14

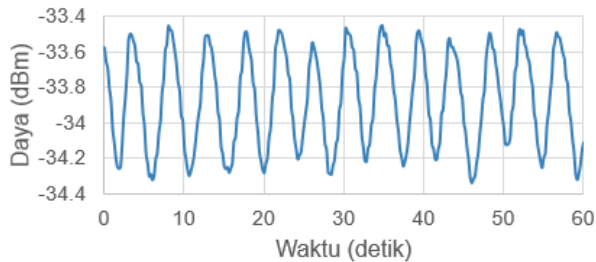
Dari Tabel 4.2 diketahui bahwa jumlah pernapasan biasa seseorang per menit dari berat 19,38 kg hingga 46,41 kg berkisar 11- 15 pernapasan per menit. Hal ini sudah sesuai dengan teori bahwa jumlah pernapasan normal seseorang dalam satu menit berkisar antara 12 – 24.

Berbeda dengan pernapasan maksimal. Pernapasan maksimal memiliki amplitudo lebih besar dari pada pernapasan biasa. Sedangkan, jumlah pernapasan per menit yang dihasilkan pada pernapasan maksimal berkisar setengah dari jumlah pernapasan biasa per menit bergantung pada kondisi kesehatan seseorang.

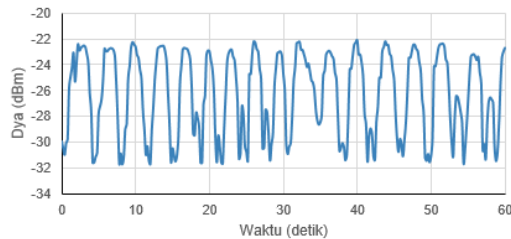
4.4 Uji Pola Pernapasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pola pernapasan saat kondisi tertentu. Untuk mengetahui perbedaan pola antara laki-laki dan wanita dilakukan uji pernapasan terhadap laki-laki dan wanita dengan berat 81 kg. Dari pengambilan data yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 diketahui bahwa pembeda antara

pernapasan laki-laki dan perempuan terletak pada amplitudo laki-laki yang lebih besar daripada perempuan dan jumlah pernapasan per menit. Amplitudo maupun jumlah pernapasan yang terjadi dipengaruhi oleh stamina dan kondisi kesehatan dari seseorang.

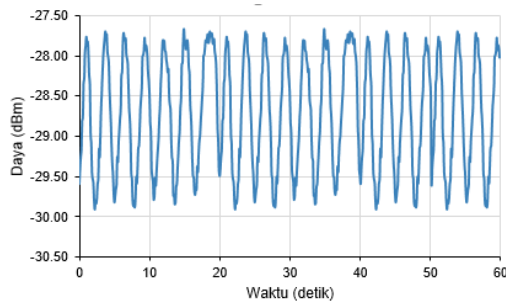


Gambar 4.6 Pernapasan biasa pada wanita 81 kg



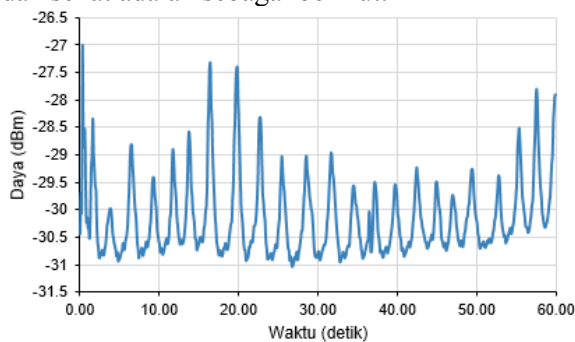
Gambar 4.7 Pernapasan biasa pada laki-laki 81 kg

Selain sensor serat optik berstrukt SMS ini mampu mendeteksi pernapasan laki-laki dan wanita, sensor ini juga dapat mendeteksi pernapasan saat manusia sedang mengalami gangguan kesehatan.



Gambar 4.8 Pernapasan biasa dalam keadaan tidur

Gambar 4.8 menunjukkan respon pernapasan biasa seseorang dalam keadaan tidur. Dalam keadaan tidur, pola pernapasan manusia menunjukkan pola pernapasan normal yang sesungguhnya. Berbeda saat monitoring diambil dalam keadaan naracoba sadar. Naracoba akan menghasilkan pola pernapasan sesuai yang dia pikirkan atau dengan kata lain hasil yang diperoleh bukan pola yang alami. Sedangkan pola pernapasan yang dihasilkan dalam kondisi tidak sehat adalah sebagai berikut.

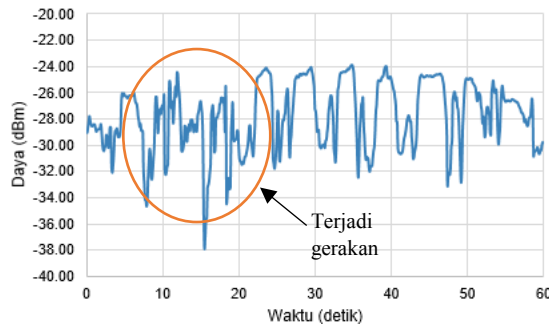


Gambar 4.9 Pola pernapasan dalam kondisi tidur dan tidak sehat

Pada Gambar 4.9 dijelaskan bahwa pernapasan tersebut diambil saat naracoba dengan berat 57kg sedang dalam kondisi tertidur dan mengalami flu. Dari hasil yang diperoleh, tidak didapatkan amplitudo yang konstan sebagaimana seseorang dalam posisi tidur dan kondisi sehat. Terjadinya gangguan kesehatan juga

mempengaruhi pernapasan seseorang sehingga pola yang dibentuk memiliki amplitudo yang berubah-ubah.

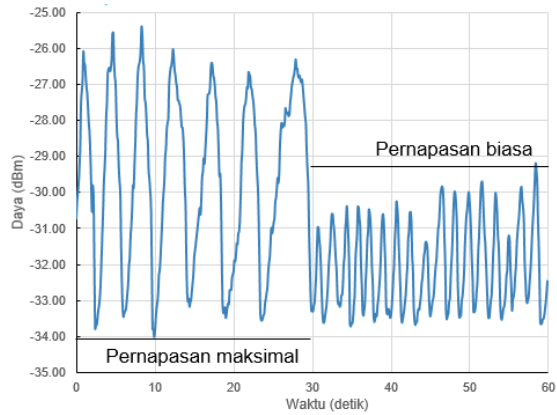
Pola pernapasan saat naracoba melakukan gerakan juga bisa dideteksi oleh sensor pernapasan. Pola pernapasan yang dihasilkan saat seseorang melakukan gerakan adalah sebagai berikut.



Gambar 4.10 Pola pernapasan saat terjadi gerakan

Saat terjadi gerakan, maka beban yang mengenai sensor akan berubah. Hal ini mempengaruhi pembentukan pola pernapasan. Lingkaran tersebut menunjukkan pola pernapasan saat terjadi gerakan. Pola yang terbentuk menjadi tidak teratur. Namun, di saat naracoba kembali ke posisi semula dengan sensor berada di pusat punggung, maka pola akan kembali ke bentuk semula dan teratur.

Pengujian juga dilakukan terhadap pernapasan biasa dan maksimal. Pernapasan biasa merupakan pernapasan seseorang dalam kondisi santai atau istirahat. Sedangkan, pernapasan maksimal adalah pernapasan seseorang yang dilakukan dengan cara menghirup udara sekuat-kuatnya dan menghembuskan napas sekuat-kuatnya. Perbedaan antara pernapasan biasa dan maksimal ditunjukkan oleh gambar 4.11.



Gambar 4.10 Pernapasan biasa dan maksimal

Halaman ini memang dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dalam Tugas Akhir ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Sensor pernapasan dengan panjang multimode 20 cm menghasilkan sensitivitas terbesar sebesar 0,4962 dBm/kg dibandingkan dengan sensor yang memiliki panjang *multimode* 5 cm, 10 cm, 30 cm, dan 40 cm dengan pemposisian sensor pada pusat punggung naracoba.
- b. Telah berhasil diuji sensor pernapasan yang mampu mendeteksi pernapasan biasa dan maksimal pada laki-laki dan wanita secara *realtime*.
- c. Sensor pernapasan ini juga mampu digunakan sebagai sensor berat tubuh dengan mengukur perubahan berat badan akibat pernapasan.

5.2 Saran

Dalam melakukan penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki baik dari tinjauan teoritis maupun aplikatif. Diantaranya adalah:

- a. Melakukan penyambungan dengan sebaik mungkin sehingga tidak terdapat rugi daya yang diakibatkan oleh kecacatan sambungan.
- b. Melakukan pemotongan panjang serat optik *multimode* dengan kepresisian tinggi (orde mikrometer) sehingga didapat panjang yang sesuai.
- c. Perlu dilakukan pengujian untuk panjang sensor yang lain agar didapatkan sensor yang memiliki sensitivitas lebih tinggi dan juga pengujian terhadap beban yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rinaldo Bellomo, Ken Hillman, Jack Chen, Simon Finfer, Arthas flabouris Michelle A Cretikos, "Respiratory Rate: The Neglected Vital Sign," *MJA*, pp. 657-659, 2008.
- [2] A. P. Mazzolini, P. R. Stoddart Y. Liang, "Fibre Bragg Grating Sensor for Respiratory Monitoring," *ACOF/OAS*, p. 75, July 2006.
- [3] John Mackay, Nahla Farid Ian Smith, "Respiratory Rate Measurement: A Comparison of Methods," *British Journal of Healthcare Assitants*, p. 18, 2011.
- [4] Robin De Keyser Clara Mihaela Ionescu, "Time Domain Validation of a Fractional Order Model for Human Respiratory System," *IEEE*, pp. 89-95, Februari 2008.
- [5] Michel, Rene M. Rossi, Laciano F. Boesel, Gian-Luca Bona, Lukas J. Scherer Marek Krehel, "An Optical Fibre-Based Sensor for Respiratory Monitoring," *ISSN 1424-8220*, pp. 13088-13101, July 2014.
- [6] Melanie Suweni Muntini, Agus Muhamad Hatta, Wayan Suana, "Pengembangan Sensor Napas Berbasis Serat Optik Plastik dengan *Cladding* Terkelupas untuk Aplikasi di Bidang Medis," *Fisika dan Aplikasinya*, pp. 1-5, 2012.
- [7] Sio Muto Masuyaki Morisawa, "A Novel Breathing Condition Sensor Using Plastic Optical Fiber," *IEEE*, p. 1277, Februari 2004.
- [8] Yuliya Semenova, Agus Hatta, Pengfei Wang, Gerald Farrell Qiang Wu, "Bent SMS Fiber Structure for Strain Measurement," *Electronics Letters*, vol. 46, January 2010.
- [9] Hatta, Agus M. et al. "Strain sensor based on a pair of singlemode-multimode-singlemode fiber structures in a ratiometric power measurement scheme". *Appl. Opt.* Vol. 49. No. 3, 536 – 541, 2010.

- [10] Safrani, Sanif, "Rancang Bangun Sistem Pernapasan Berbasis Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS)," Surabaya, 2016.
- [11] Dzuida, "Fiber-optic Sensor For Monitoring Patient Physiological Parameters," Januari 2015.
- [12] Chow, P., Nagendra, G., Abisheganaden, J., & Wang, Y. T. (2000). Respiratory monitoring using an air-mattress (Placeholder1) system. *Physiological measurement*, 21(3), 345
- [13] Hersel Raff, Kevin Strang Eric Widmainer, "Respiration," in *Human Physiology: The Mechanism of Body*. New York, Amerika: The McGraw-Hill, 2001, ch. 15, pp. 463-504
- [14] Brian J. Thompson Daniel Malacara, *Handbook of Optical Engineering*. New York: Marcek Dekker, Inc., 2001.
- [15] Paul B. Ruffin, Francis T.S Yu Shizhuo Yin, *Fiber Optic Sensors*. Boca Raton: CRC Press, 2008.
- [16] Bentley, J.P. 1995. *Principles of Measurement Systems*. Third Edition. Longman Singapore Publisher. Singapore

LAMPIRAN A

Datasheet Peralatan

- Spesifikasi *Step-Index Multimode Fiber-Thorlabs*

Item #	FG010LDA	FG025LJA	FG105LVA
Optical Specifications			
Wavelength Range	400 - 550 nm and 700 - 1000 nm	400 - 550 nm and 700 - 1400 nm	400 - 2100 nm
Numerical Aperture	0.100 ± 0.015		
Core Index	Proprietary ^a		
Cladding Index	Proprietary ^a		
Geometric Specifications			
Core Diameter	10 ± 3.0 μm	25 ± 3.0 μm	105 ± 3.0 μm
Cladding Diameter	125 ± 2.0 μm		
Coating Diameter	245 ± 10 μm		250 ± 10 μm
Core/Clad Concentricity	<1.0 μm		
Other Specifications			
Coating	Two-Layer Acrylate		
Minimum Bend Radius (Short Term ^b / Long Term ^c)	120 x Cladding Diameter / 240 x Cladding Diameter		
Operating Temperature	-60 to 85 °C		-40 to 85 °C
Proof Test	≥100 kpsi		

- Spesifikasi Z1C

[Z1C specifications]		
Optical fiber requirement	Material	Silica glass
	Profile type	SMF (ITU-T G.652), MMF (ITU-T G.651) DSF (ITU-T G.653), NZDSF (ITU-T G.655, G.656)
	Fiber diameter	80 - 150 μ m
	Fiber coating diameter	100 - 1,000 μ m
	Cleave length *1	up to 61,000 μ m 8 - 18 mm
	Fiber count	Single fiber Drop cable : indoor cable - 12mm
Size and weight	Size (main body) *2	120W x 154D x 130H (mm)
	Weight	Approx. 2.0 kg (with BU-112)
	Monitor	4.1" touch screen color LCD display
Standard performance	Typical splice loss *3	SMF : 0.02dB DSF : 0.04dB MMF : 0.01dB NZDSF : 0.04dB
	Typical splice cycle time *3	Approx. 7 seconds (Quick Mode) Approx. 7.5 seconds (SMF Standard Mode) Approx. 8 seconds (Automatic Mode)
	Typical heating cycle time *1,4	Approx. 25 seconds
	Splicing/heating operation per fully charged battery *5	Approx. 100
	Functions	<ul style="list-style-type: none"> Loss Estimation : Provided Splice data storage : 10,000 splices Splice image capture : 64 splices Proof test *6 : 1.55N (200g) Heat shrink oven : Provided Air environment calibration : Automatically compensates for environmental condition changes Air test : Provided V-groove white LED illumination : Provided Interface : USB 2.0 mini-B type Storage media : SD / SDHC memory card Universal clamps for tight & loose buffer fiber : Provided Reversible coating pumps : Provided User-selectable heater cable operation : Provided On-card user training video : Provided
Programs	Splice programs	Max. 300
	Heating programs	Max. 100
Power supply	AC operation	With ADC-1430 Input: AC 100-240V 50/60Hz 1.1A
	DC operation	Input: DC 10-15V, 4A
	Battery operation	With BU-112 (11.1V (2300mAh))
	DC output	12V For Sumitomo's hot jacket remover
Environmental conditions	Operation temperature *7	-10 °C ~ +50 °C
	Storage temperature *7, *8	-40 °C ~ +60 °C
	Altitude	0 to 6,000m
	Windproof	Max. 15m/s
	Water & Dust resistance	Equivalent to IP65 *9
	Shock resistance	Drop from 76cm on 5 faces *10
Electrode life		3,000 arc discharges *11

- Optical Power Meter

Digital Handheld Optical Power and Energy Meter Console

- Power and Energy Measurements for Free Space and Fiber Applications
- Designed for High Accuracy, Reliability, and Ease of Use
- Over 25 Compatible Sensors



Item #	PM100D
Compatible Sensors	Photodiode, Thermal, and Pyroelectric
Optical Power Range ^a	100 pW to 200 W
Optical Energy Range ^a	3 μ J to 15 J
Available Sensor Wavelength Range ^a	185 nm - 25 μ m
Display Refresh Rate	20 Hz
Bandwidth ^a	DC - 100 kHz
Photodiode Sensor Range ^b	50 nA - 5 mA
Thermopile Sensor Range ^b	1 mV - 1 V
Pyroelectric Sensor Range ^b	100 mV - 100 V

LAMPIRAN B

Peralatan Penelitian



Gambar B.1 *Optical light source*



Gambar B.2 ZIC fusion splicer



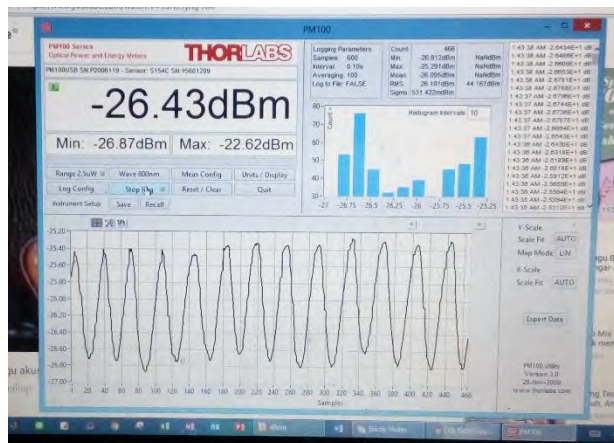
Gambar B.3 Thorlabs

LAMPIRAN C

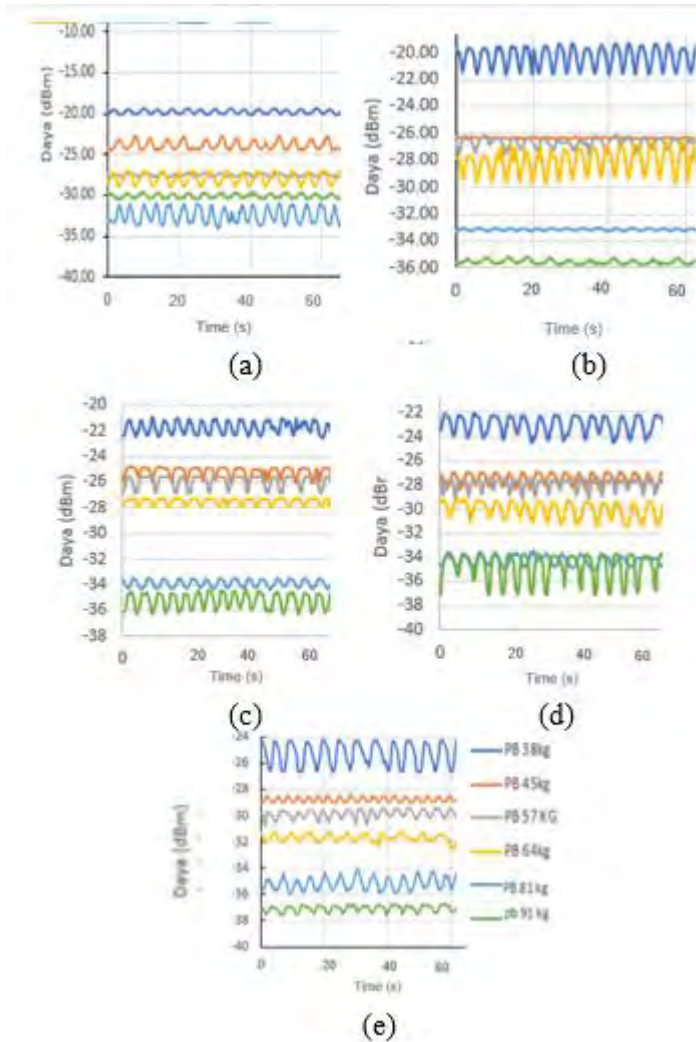
Pengambilan Data Pernapasan



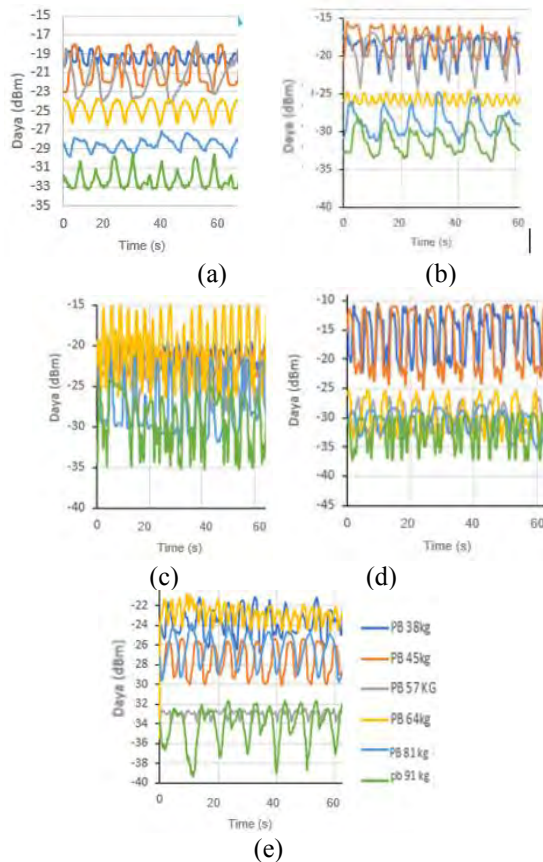
Gambar C.1 Proses pengambilan data



Gambar C.2 Hasil monitoring pernapasan

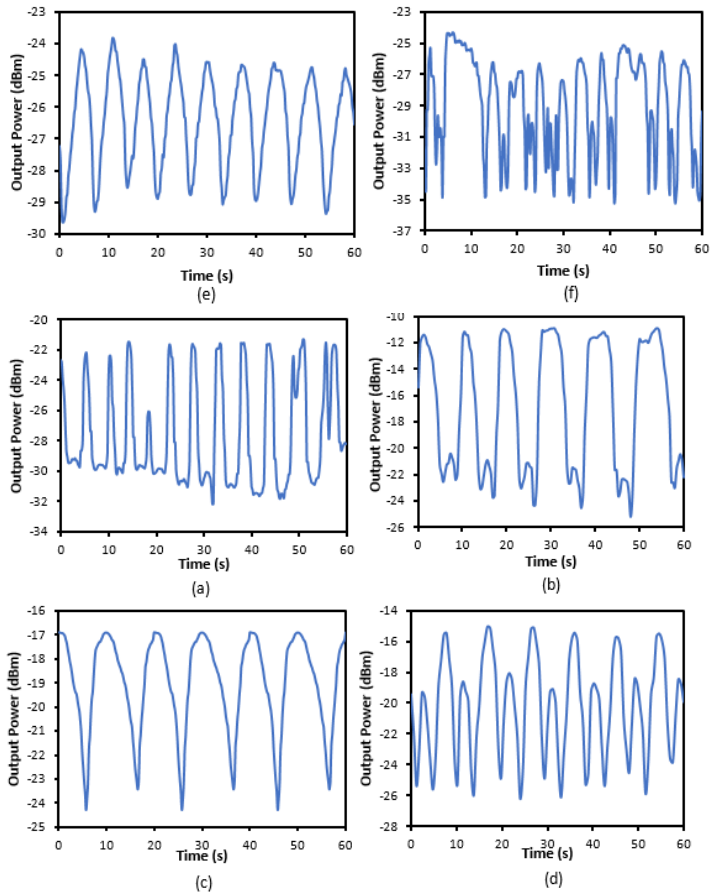


Gambar C.3 Pengaruh perubahan panjang sensor serat optik dan variasi berat terhadap pernapasan biasa pada (a) 5 cm, (b) 10 cm, (c) 20 cm, (d) 30 cm, dan (e) 40 cm.



Gambar C.4 Pengaruh perubahan panjang sensor serat optik dan variasi berat terhadap pernapasan maksimal pada (a) 5 cm, (b) 10 cm, (c) 20 cm, (d) 30 cm, dan (e) 40 cm.

Dari hasil pembacaan pernapasan terhadap masing-masing sensor telah sesuai dengan konsep yang ada, bahwa semakin panjang serat optik maka rugi daya yang dihasilkan juga semakin besar. Begitu pula terhadap variasi berat. Semakin berat beban yang diberikan kepada sensor maka rugi daya yang terjadi juga semakin besar.



Gambar C.5 Respon sensor 20 cm pada pernapasan maksimal untuk berat (a) 19,38 kg, (b) 22,95 kg, (c) 29,07 kg, (d) 32,64 kg, (e) 41,31 kg, (f) 46,41 kg

LAMPIRAN D

Data Karakteristik Sensor

Tabel D.1 Data karakteristik sensor saat pernapasan biasa

Panjang Sensor	Barat (Kg)	Daya			Rata-rata (dBm)	Standar Deviasi (dBm)	Resolusi (Kg)	Sensitivitas (dBm/kg)	Linearitas (Kg)
5	19.38	-20.11	-20.89	-21.33	-20.77666667	0.61784572	1.59	0.4641	0.9156
	22.95	-24.74	-25.87	-25.92	-25.51	0.667306025			
	29.07	-27.89	-28.91	-29.32	-28.70666667	0.736364946			
	32.64	-29.04	-29.55	-28.34	-28.97666667	0.607481138			
	41.31	-30.4	-31.3	-31.58	-31.09333333	0.618549538			
10	46.41	-34.96	-34.05	-33.6	-34.20333333	0.692844379	1.449	0.4774	0.9505
	19.38	-21.64	-22.42	-21.24	-21.76666667	0.60011101			
	22.95	-26.85	-26.34	-27.57	-26.92	0.617980582			
	29.07	-27.75	-26.41	-26.78	-26.98	0.692026011			
	32.64	-29.99	-28.82	-29.74	-29.51666667	0.616143923			
20	41.31	-33.72	-34.66	-33.31	-33.89666667	0.69212234	1.3	0.4962	0.9738
	46.41	-35.89	-34.7	-34.82	-35.13666667	0.655153014			
	19.38	-22.8	-22.34	-23.56	-22.9	0.61616872			
	22.95	-25.81	-26.76	-25.62	-26.06333333	0.610764548			
	29.07	-26.88	-27.95	-28.04	-27.62333333	0.64531846			
30	32.64	-28.47	-28.22	-29.34	-28.345	0.587905888	3.526	0.4326	0.9718
	41.31	-34.55	-34.62	-33.53	-34.23333333	0.61010928			
	46.41	-36.32	-35.59	-36.68	-36.19666667	0.555367746			
	19.38	-24.77	-23.33	-24.56	-24.22	0.777881739			
	22.95	-28.48	-27.29	-27.48	-27.75	0.639296488			
40	29.07	-29.16	-28.81	-27.78	-28.58333333	0.71737949	2.056	0.388	0.9844
	32.64	-31.62	-29.94	-30.43	-30.86333333	0.863963734			
	41.31	-35.14	-34.56	-35.83	-35.17666667	0.635793468			
	46.41	-37.23	-37.72	-36.46	-37.13666667	0.635164021			
	19.38	-26.69	-27.13	-27.89	-27.23666667	0.607069463			
	22.95	-23.56	-22.14	-28.22	-28.64	0.797746827			
	29.07	-30.76	-29.23	-30.12	-30.03666667	0.768396599			
	32.64	-32.49	-32.94	-31.45	-32.29333333	0.764220736			
	41.31	-36.01	-35.63	-36.86	-36.16666667	0.629788324			
	46.41	-37.61	-36.22	-36.77	-36.86666667	0.700023809			

Tabel D.2 Amplitudo pernapasan biasa pada wanita

Berat Punggung(Kg)	Panjang Multimode				
	5 Cm	10 cm	20cm	30cm	40cm
19.38	0.6	0.3	1.2	1.7	1.9
22.95	1.2	1.8	1.1	1.8	0.45
29.07	0.4	1.3	1.25	1.5	0.9
32.64	1.3	1.6	0.65	1.6	0.7
41.31	0.6	0.2	0.8	1.5	0.97
46.41	1.9	0.4	1.6	1.1	0.4

Tabel D.3 Amplitudo pernapasan maksimal pada wanita

Berat Badan(Kg)	Panjang Multimode				
	5 Cm	10 cm	20cm	30cm	40cm
19.38	1.6	4.5	3.3	10	4.9
22.95	4.6	4	3.2	13	4.5
29.07	5	6.5	4	6.1	1.4
32.64	2.73	1.9	11	8	4.2
41.31	2.1	4.1	7	4.5	5.1
46.41	2.6	5.02	9	8	5.9

Tabel D.4 Amplitudo pernapasan biasa pada laki-laki

Berat Badan(Kg)	Panjang Multimode				
	5 Cm	10 cm	20cm	30cm	40cm
29.58	0.5	1.01	1.5	2	1.5
41.31	1.7	3	4	5.5	3

Tabel D.4 Amplitudo pernapasan maksimal pada laki-laki

Berat Badan(Kg)	Panjang Multimode				
	5 Cm	10 cm	20cm	30cm	40cm
29.58	12	3.9	10	13	11
41.31	3	8	16	15	14

BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap **Elox Suraya**, lahir di Kediri pada tanggal 8 Desember 1994 dan merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di SD negeri Brumbung 1 kemudian SMP Negeri 1 Kepung. Kemudian melanjutkan studinya di SMA Negeri 2 Pare. Penulis melanjutkan studi ke jenjang Strata 1 di program Jurusan Teknik Fisika dengan NRP 02311340000057. Pada tahun 2017, penulis akhirnya melaksanakan Tugas Akhir sebagai syarat untuk menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Fisika dengan judul **“RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PERNAPASAN BERBASIS SERAT OPTIK SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS) PADA MATRAS”**. Bagi pembaca yang memiliki saran, kritik, atau ingin berdiskusi lebih lanjut tentang Tugas Akhir ini, bisa menghubungi penulis melalui elox.suraya@gmail.com.